



DIACRONISMO FLUVIAL DEL RIO PUTUMAYO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN - MUNICIPIO DE PUERTO ASIS PUTUMAYO.

PUTUMAYO RIVER's FLUVIAL DIACHRONISM FOR FLOOD THREAT IDENTIFICATION - PUERTO ASIS PUTUMAYO MUNICIPALITY

Drapsol Córdoba Nomelin
3101515
Ingeniera Ambiental

Director:
Ing. Freddy León Reyes M.Ed
Ing. Jhimmy Laureano Calvache Fajardo Mag. en Teledetección

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
NOVIEMBRE DE 2020
BOGOTÁ-COLOMBIA**

DIACRONISMO FLUVIAL DEL RIO PUTUMAYO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN - MUNICIPIO DE PUERTO ASIS PUTUMAYO.

PUTUMAYO RIVER's FLUVIAL DIACHRONISM FOR FLOOD THREAT IDENTIFICATION - PUERTO ASIS PUTUMAYO MUNICIPALITY.

Drapsol Córdoba Nomelin
Ingeniera Ambiental.
Especialista en Geomática.
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
u3101515@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El presente documento contiene el análisis del diacronismo fluvial para una sección del río Putumayo ubicada en el Municipio de Puerto Asís, para esto, se seleccionaron una serie de imágenes satelitales (Landsat) que una vez pre-procesadas y analizadas con técnicas vectoriales SIG, permiten visualizar el comportamiento morfométrico del cauce del río y con ello, estimar la dirección que este puede tomar a futuro, como herramienta preventiva en la identificación de amenazas por inundación para la cabecera municipal. La metodología de investigación incluye el análisis multitemporal de imágenes en periodos de tiempo que van desde el año 1976/1987, 1987/1991, 1991/1996, 1996/2009 y 2009/2020. Dentro de las técnicas vectoriales realizadas mediante el uso del Software ArcGis 10.7, se encuentra: (Georreferenciación, digitalización y generación de puntos, líneas y polígonos). Se identificaron 9 meandros para el estudio, a estos se les calculó el centroide, radio de curvatura, distancia de migración, temporalidad y ángulo de movimiento; de igual manera, se identificaron las áreas activas e inactivas del cauce en cada periodo de tiempo y se generaron estadísticas concluyentes en el envejecimiento del río. Al dividir la distancia de migración del meandro vs el tiempo de análisis se obtiene la rata de cambio, la cual indicó valores altos para el meandro No.5 y que por su comportamiento morfodinámico es de especial cuidado por la amenaza de inundación que puede representar a futuro para el sector poblado de municipio de Puerto Asís.

Palabras Claves: Meandro, Morfodinámica fluvial, Rata de cambio, Movilización, Amenaza de inundación.

ABSTRACT

This document contains the analysis of fluvial diachronism for a Putumayo river section located in the Puerto Asis Municipality, so a series of satellite images (Landsat) were selected, once pre-processed and analyzed with vector GIS techniques, they allow

visualizing the morphometric behavior of the riverbed and estimating the direction that it may take in the future, as a preventive tool in the flood hazard identification for the municipal head. The research methodology includes the multitemporal analysis of images in time periods ranging from 1976/1987, 1987/1991, 1991/1996, 1996/2009 and 2009/2020. Among the vector techniques performed using the ArcGis 10.7 software, such as: (Georeferencing, digitization and generation of points, lines and polygons). We identified nine meanders for the study, and we calculated their centroid, radius of curvature, migration distance, temporality and angle of movement; similarly, we identified the active and inactive channel areas in each period of time and we generated conclusive statistics on the river aging. Dividing the meander migration distance vs the analysis time, we obtained the rate of change, which indicated high values for meander No.5 and which due to its morphodynamic behavior requires special attention because it represents a flooding threat in the near future for the populated sector of the Puerto Asis municipality.

Keywords: Meander, River morphodynamics, Rate of change, Mobilization, Flood threat.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo ambiental en la dinámica fluvial corresponde a un proceso de observación de manera periódica y sistemática, donde se enfoca el análisis en uno o más elementos del ambiente siguiendo un plan temporal; en ese sentido, analizar el diacronismo fluvial del Río Putumayo para la identificación de amenazas por inundación en el tramo correspondiente al municipio de Puerto Asís Putumayo, es posible a través de la Teledetección, siendo una disciplina científica que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías para la observación, el análisis y la interpretación de fenómenos ambientales en distintas escalas espaciales y temporales [13] .

Una de las aplicaciones importantes que emergen de analizar la dinámica fluvial, se evidencia en la proyección de obras de infraestructura tales como un puente, por ejemplo, donde se debe modelar el flujo hídrico para determinar el sitio óptimo de localización de la estructura [2]. Este tipo de proyectos se ven limitados en casos particulares por el diacronismo que presente el cuerpo hídrico y la movilidad de los meandros con el paso del tiempo. Este comportamiento se encuentra en los ríos aluviales de llanura, puesto que son sistemas con una gran geomorfología y complejidad ambiental, adicional a su dinámica fluvial muy activa. Su regulación permanente y las fluctuaciones en el flujo de líquidos y sólidos se transforman en movilidad lateral y vertical [6] . Aunado a ello, las diversas actividades humanas sobre la cuenca, la llanura de inundación y el cauce modifican esta movilidad, la cual garantiza la riqueza y diversidad de esos sistemas naturales [10].

Para analizar el diacronismo fluvial es necesario comprender el movimiento meándrico del cuerpo hídrico; un río con muchos meandros se caracteriza por presentar cauces desiguales, los cuales pueden ser de acentuados a poco acentuados, dependiendo de

las características geológicas, topográficas, de caudal y de corriente [4]; adicionalmente, se distingue por presentar pendientes suaves y cuyos sedimentos corresponden a arena fina, manteniendo de este modo el equilibrio entre la erosión y la capacidad de transporte del agua [12].

Dentro de los procesos de erosión fluvial se encuentran tres (3) modalidades (erosión vertical, erosión regresiva o remontante y la erosión lateral o “meandros”). La primera corresponde a una sumatoria de procesos entre los cuales se encuentra la abrasión ejercida por la carga de fondo transportada por el río y su resultado conduce a la formación de profundas cubetas con forma circular y la sedimentación acumulada a la orilla de este; por su parte, la erosión regresiva tiende a ampliar la cuenca hidrográfica por la continua erosión remontante desde sus aguas, generando divisorias dinámicas que tienden a trasladarse aguas arriba; finalmente, la erosión lateral o “meandros” pueden presentarse de forma divagante sobre la llanura aluvial, haciendo que estos no tengan una posición fija. Con lo anterior, se pretende interrelacionar a grandes rasgos como el agua actúa sobre la superficie terrestre de forma constante e incesante, poco a poco, o bien de forma catastrófica en episodios puntuales y repentinos. Los episodios catastróficos relacionados con el agua suponen generalmente riesgos para las poblaciones. Estos riesgos suelen tener relación con dos procesos: inundaciones producidas por desbordamiento de los ríos o por deslizamiento de laderas y taludes [7].

Los hechos que anteceden en la historia en la dinámica fluvial para el Departamento del Putumayo se remontan recientemente a la tragedia ocurrida en su capital Mocoa en la madrugada del primero (1) de abril de 2017, la cual dejó un registro doloroso de 332 personas fallecidas y centenares de familias damnificadas. El desastre causó gran conmoción, pero lo peor es que desde hace varios años, otras poblaciones del Departamento también claman por acciones oportunas para evitar un hecho similar [11].

El 26 de Julio de 2013, el municipio de Puerto Asís y otros municipios del Departamento estaban de luto. Aproximadamente 7.000 familias se vieron afectadas por el desastre, el desborde del río Putumayo sumergió a 15 barrios en Puerto Asís. De acuerdo con el entonces alcalde, Jorge Coral Rivas, fue un balance catastrófico. El Gobierno Nacional adoptó como medida apresurada la construcción de un muro de contención en la margen izquierda del río Putumayo, obra que resultó ser tiempo después un “elefante blanco”. Con el paso de los años, el municipio ha estado experimentando constantemente situaciones de emergencia donde los riesgos continúan y las vulnerabilidades se acrecientan [11].

La socavación del río Putumayo pone en riesgo el puerto de carga y las veredas: Peñalosa, La Unión y Hong Kong. En este último, [3], se realizó un análisis reciente sobre el comportamiento del diacronismo fluvial del río Putumayo con el fin de evaluar la viabilidad en la construcción de un puente que comunique el centro poblado de la cabecera urbana del municipio de Puerto Asís con el corredor Puerto Vega – Teteyé, concluyendo que la tasa de traslación de los meandros es muy alta y que en un tiempo estimado de seis (6) años será una amenaza para el sector poblado del Municipio. Adicionalmente, concluye que ninguno de los meandros de análisis dentro del sector

de referencia asumido por el autor, ofrece condiciones diacrónicas apropiadas para establecer la obra de paso prevista.

La presente investigación me permite analizar el diacronismo fluvial del río Putumayo para la identificación de amenaza por inundación del casco urbano del Municipio de Puerto Asís Putumayo.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a los sucesos citados en la sección anterior, aunado a la variabilidad del río en época de invierno, surge la necesidad de analizar esta problemática, planteando para ello la siguiente inquietud: ¿Cómo el comportamiento del diacronismo fluvial puede anticipar el conocimiento de amenaza por inundación en el Municipio de Puerto Asís Putumayo?

Para resolver el problema anterior, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Calcular el tipo, forma y clasificación del meandro según la metodología [9], estos incluyen los modos de desarrollo del bucle del meandro mediante la tasa de extensión, traslación, rotación, conversión a un bucle compuesto, corte del cuello por cierre, corte diagonal por vertedero y corte del cuello por vertedero del río Putumayo en el Municipio de Puerto Asís Putumayo.
- Estimar el área de espejo de agua en las diferentes temporalidades desde el año 1976 al 2020.

Acorde con lo anterior, para responder y conducir la investigación a un análisis espacial concluyente, se llevó a efecto el siguiente flujo de trabajo.

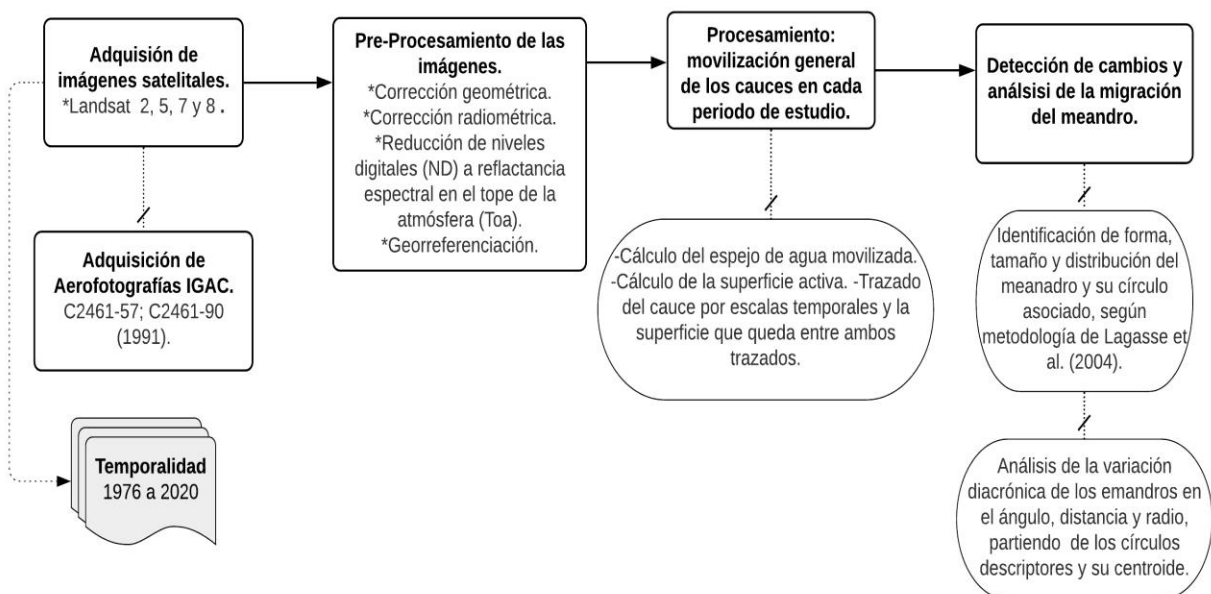


Diagrama 1. Flujo de trabajo.

1.1. Área de estudio

El tramo fluvial en el cual se aplicará la metodología de análisis de superficie movilizadora y dinámica de meandros corresponde al curso fluvial del río Putumayo en la sección media localizada en el Municipio de Puerto Asís, véase **Figura 1**.

Tabla 1. Coordenadas de los vértices, área de estudio.

| Vértice | COORDENADAS PLANAS - MAGNA COLOMBIA OESTE | |
|---------|---|-------------|
| | ESTE | NORTE |
| V1 | 1052631.168 | 555707.9383 |
| V2 | 1069564.536 | 555707.9383 |
| V3 | 1069590.994 | 542002.4942 |
| V4 | 1052684.085 | 541976.0358 |

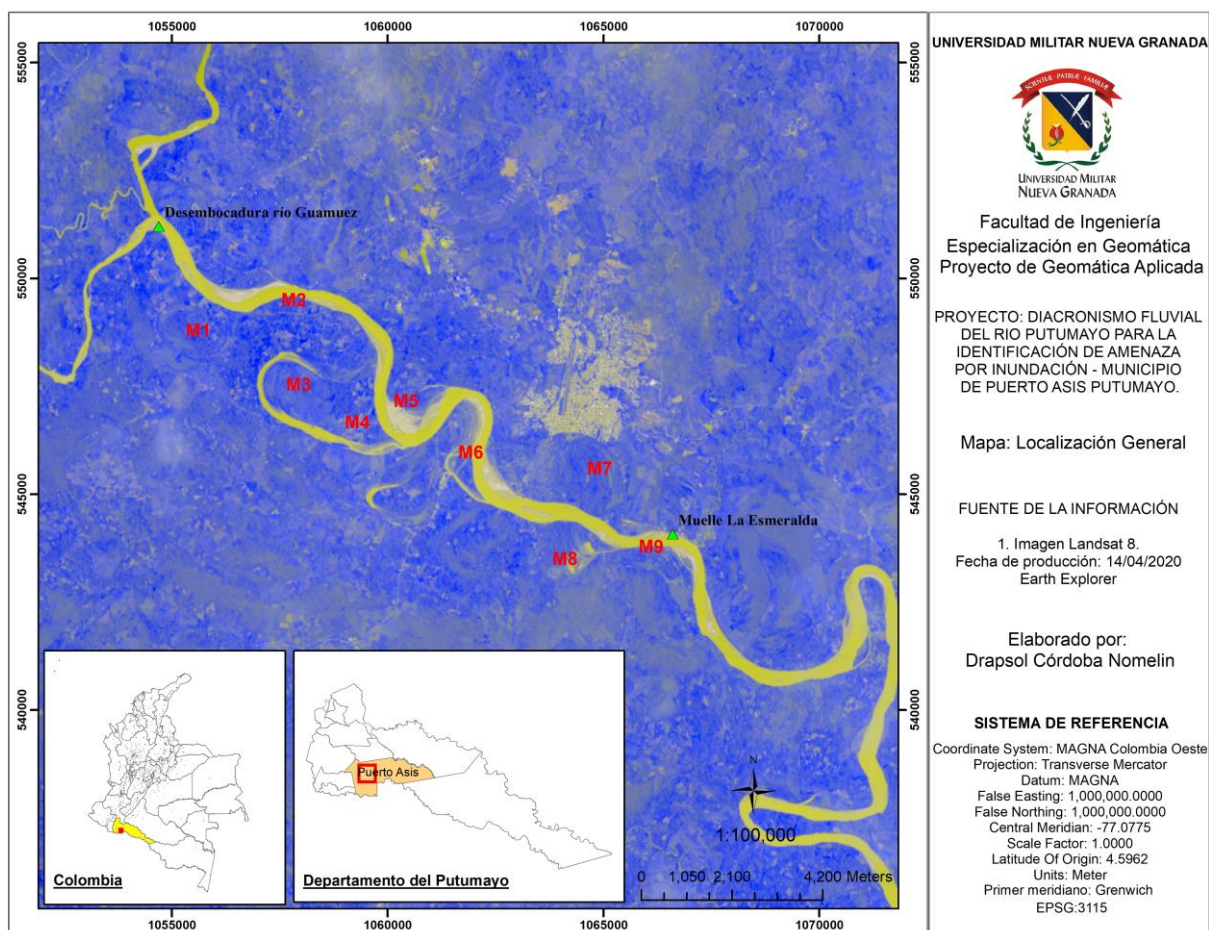


Figura 1. Localización general del área de estudio del río Putumayo en el municipio de Puerto Asís.

Fuente: Imagen Landsat 8 Geo-procesada por [3].

La longitud del tramo de río definida como área de estudio es de aproximadamente 14.4 km.

1.2. Adquisición de imágenes satelitales.

Para comprender la evolución de tramo de la sección media del río Putumayo, se ha realizado un análisis multitemporal diacrónico mediante fotografías aéreas de diferentes fuentes y una imagen georreferenciada que cubre la totalidad del área de estudio. Se seleccionaron imágenes Landsat 2, 5, 7 y 8 de las siguientes fechas: 1976, 1876/87; 1987/91; 1991/96; 1996/2009 y 2009/2020. Adicionalmente se adquirieron dos (2) aerofotografías pancromáticas en formato digital escaneadas fotográficamente con resolución de 15 micrones en formato TIFF-JPG del Instituto Colombiano Agustín Codazzi (IGAC) correspondientes al vuelo No.C2461 de 1991 y vuelo No.057-090, escala 1:100.000 Plancha No. 466.

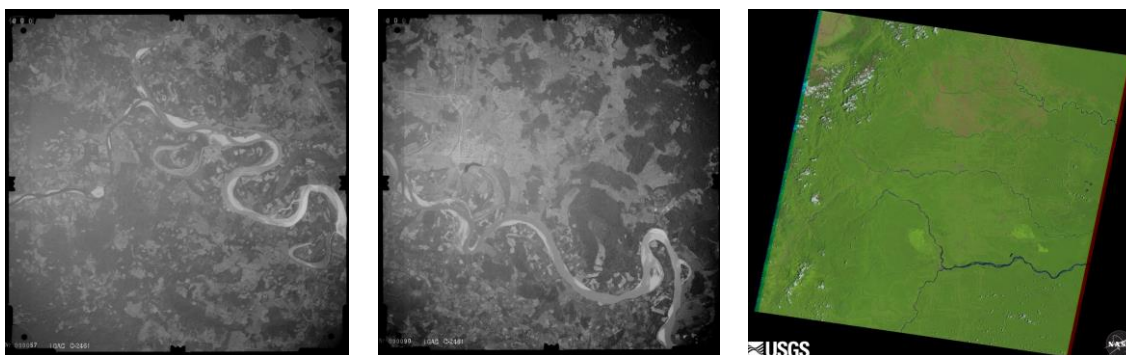


Figura 2. Imágenes fuente de información.

Fuente: IGAC., 2020 & Landsat., 2020.

Tabla 2. Listado de imágenes objeto de análisis.

| IMÁGENES | Escala | Tamaño del píxel (m) | FECHA DE PRODUCCIÓN |
|--------------|-----------|-------------------------|------------------------|
| Landsat 2 GS | 1:100.000 | 60 | 01/02/1976 |
| Landsat 5 TP | 1:80.000 | 30 | 13/10/1987 |
| C22461-57 | 1:2.000 | 1 | 1991 |
| C2461-90 | 1:2.000 | 1 | 1991 |
| Landsat 5 TP | 1:80.000 | 30 | 03/09/1996 |
| Landsat 7 TP | 1:50.000 | 15 | 26/05/2009 |
| Landsat 8 TP | 1:50.000 | 15 | 14/04/2020 |

Las imágenes Landsat se descargaron de la página Earth Explorer, se cargó el área de estudio en formato de archivo KMZ generado previamente en Google Earth, se configuró la temporalidad de búsqueda, preferiblemente en una misma época del año (tiempo seco) y se seleccionaron las imágenes con menor porcentaje de nubes (inferior al 20%) realizando la descarga de insumos en color natural.

1.3. Preprocesamiento de las imágenes.

De acuerdo con [4], las imágenes seleccionadas en la **Tabla 2**, se sometieron a procesos de corrección radiométrica y atmosférica con la ayuda del software libre

QGIS y el complemento (ToA), lo que permite convertir la información de la imagen original (sin procesar) de cada píxel, del Nivel Digital (ND) al nivel de reflectancia capturado por el sensor en el Tope de la Atmósfera (ToA), es decir, con su influencia, permite restaurar líneas o píxeles perdidos y corrige la dispersión o bandeo de la imagen **Figura 3**, causado por la presencia de partículas en la atmósfera, y la diferente incidencia de los ángulos de la energía solar respecto la distancia Tierra-Sol, que se traduce en consecuencia, en un diferente tiempo de adquisición de la imagen.

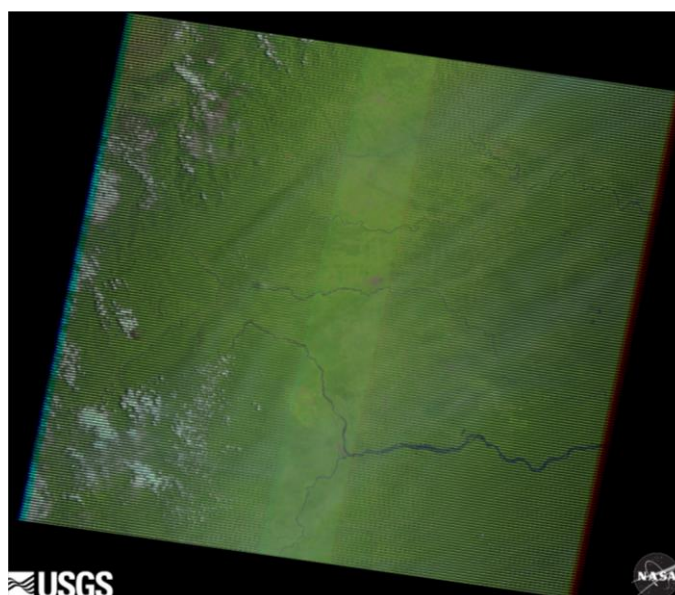


Figura 3. Imagen con dispersión en el sensor.
Fuente: Landsat., 2010.

1.4. Movilización general de los cauces

Para [5] y [8], conocer y analizar la movilización general de los cauces en cada periodo de estudio se basa en dos métodos diferentes de análisis vectorial. El primero de estos consiste en calcular la superficie movilizada del meandro, tomando como referente la orilla del cauce de río en la fotografía del año inicial (1979) y midiendo el mismo punto (curva del meandro) en las fotografías siguientes hasta el año 2020. De igual forma, se calculó la superficie activa del meandro que incluye el trazado del cauce de cada par de años analizados y la superficie inactiva restante entre los mismos (Playas). El desarrollo de este primer paso permite medir la reducción de la superficie del cauce en los diferentes años de estudio.

En el segundo método, se realiza la medición de la migración de los meandros y su tendencia de migración futura para las secciones seleccionadas en este estudio, siguiendo para ello el método propuesto por [9] y citado por [3]. La metodología consiste en realizar un círculo circunscrito sobre la orilla cóncava del meandro, ubicar un centroide para cada círculo y calcular el radio de curvatura en cada año y la

variación de la distancia y del ángulo de movimiento entre diferentes años, véase (Figura 4).

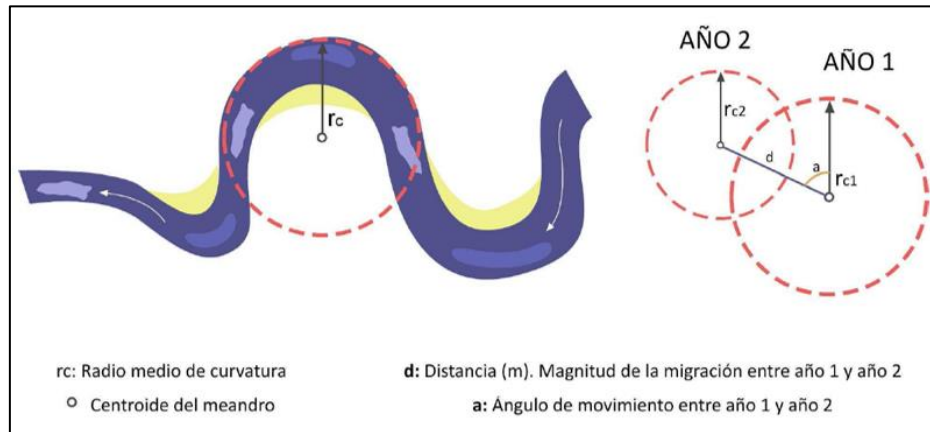


Figura 4. Parámetros relacionados para el análisis de la migración del meandro.

Fuente: [11].

1.5. Detección de los cambios y análisis de la migración del meandro.

Para comprender la dinámica del meandro, se siguió la metodología propuesta por [9], la cual consiste en analizar el desarrollo del bucle del meandro partiendo de la medición directa de su eje en parámetros como (ángulo de movimiento, distancia movilizadora y radio). Para [6], un meandro es el arco formado por el accionar del caudal de un río cuando presenta grandes subidas y bajadas en su curso, esos a su vez se generan en llanuras aluviales debido a que los sedimentos terrestres se depositan en las áreas elevadas de los meandros y son transportados por el río en el área convexa donde la velocidad es más baja. Cuando se presenta mucha erosión en los meandros, estos se separan del cauce activo y aparecen meandros abandonados.

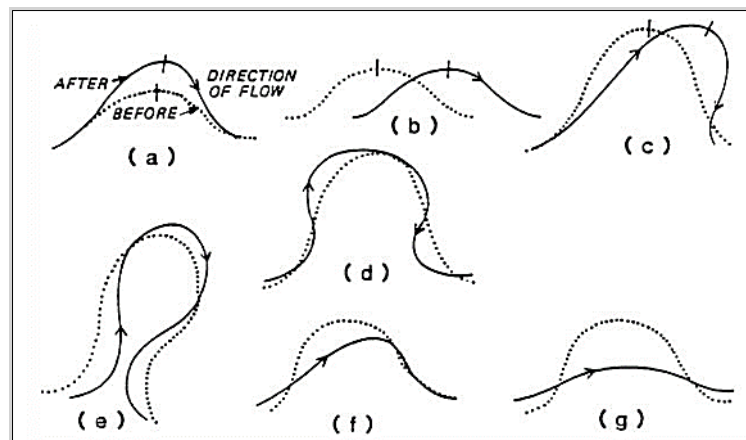


Figura 5. Dinámica del bucle del meandro.

a) extensión, b) traslación, c) rotación, d) conversión a un bucle compuesto, e) corte del cuello por cierre, f) corte diagonal por vertedero y g) corte del cuello por vertedero.

Fuente: [9]

La **Figura 5**, presenta las características morfométricas de dirección que puede presentar la dinámica del bucle del meandro con el tiempo, para el caso de estudio en la sección del río Putumayo ubicada en Puerto Asís, se analiza desde el año 1976 al 2020.

El proceso metodológico para analizar la dinámica de los meandros se resume en el **Diagrama 2**.

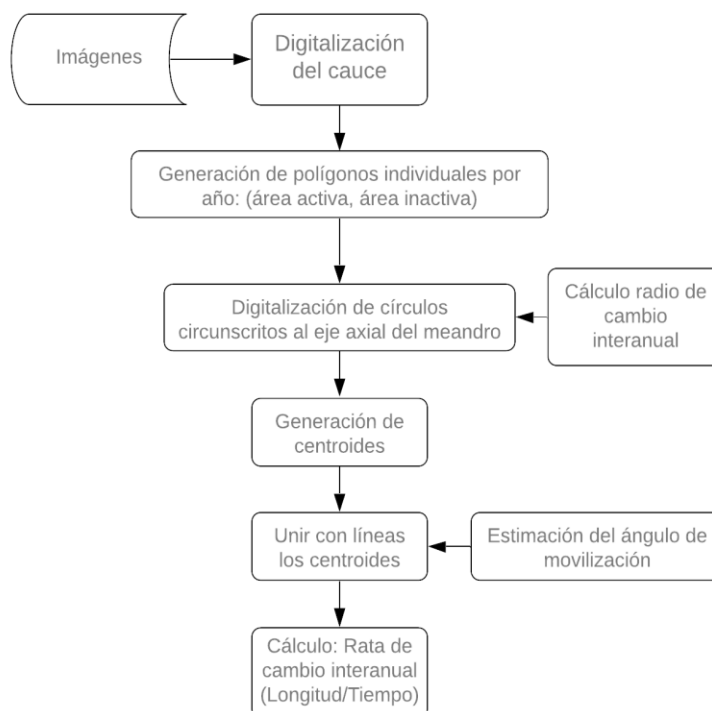


Diagrama 2. Análisis de la migración del meandro

Una vez se concluye el procesamiento técnico de las imágenes, se generaron gráficos con el fin de conocer el proceso de senectud del cauce con el tiempo, teniendo en cuenta variables como el área y la longitud para la zona activa e inactiva fluvial.

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

2.1. Preprocesamiento

El procesamiento digital de imágenes involucra un conjunto de técnicas SIG orientadas a la manipulación y análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes digitales, estas presentan errores comunes como las distorsiones radiométricas y geométricas. Para efectuar las correcciones geométricas en las imágenes no referenciadas como son las planchas digitales del IGAC, se procedió a localizar puntos de control coincidentes con una imagen georreferenciada; de este modo, se establecen las relaciones geométricas entre las imágenes. Haciendo Uso de la Herramienta “Georeferencing” en ArcMap se cumplió el proceso. [1], el resultado se observa en la **Ilustración 1**.

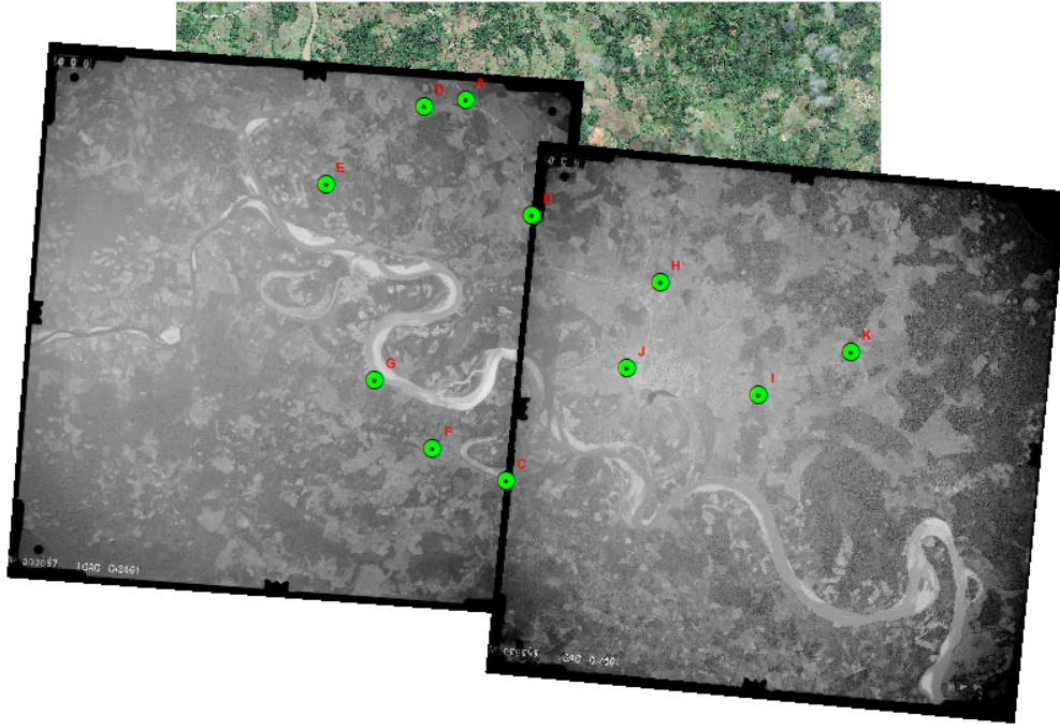


Ilustración 1. Generación de puntos de control y corrección geométrica para las planchas IGAC.

Todas las imágenes de insumo fueron referenciadas al Sistema de Referencia Magna Sirgas Origen oeste.

Al realizar las correcciones radiométricas se buscó corregir las anomalías del sensor y de ruido producido por el sensor o la atmósfera en las imágenes Landsat. Por ejemplo, correcciones de radiación para la iluminación, efectos atmosféricos de aerosoles o partículas finas. Este proceso se realizó utilizando como herramienta de procesamiento el software QGIS 3.0 y el plugin SCP (Semi-Automatic Classification) que contiene el ToA (Reflectancia espectral en el Tope de la Atmósfera). A modo de ejemplo, se observa el resultado obtenido para dos de las imágenes Landsat.

Imagen Cruda 1976

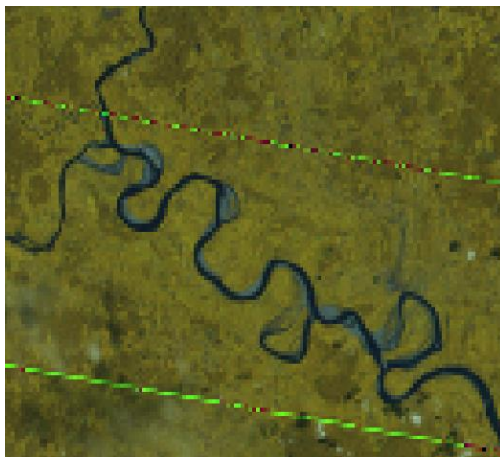


Imagen Corregida 1976

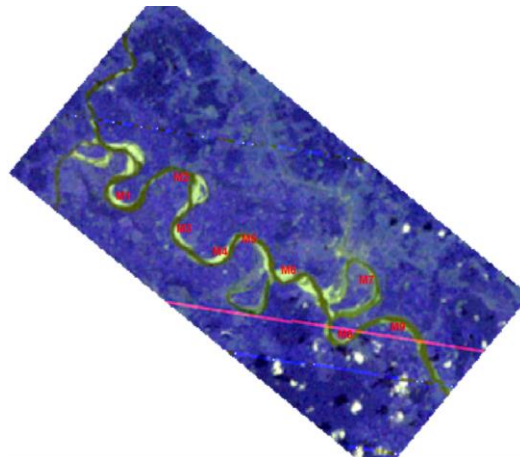


Imagen Cruda 1996

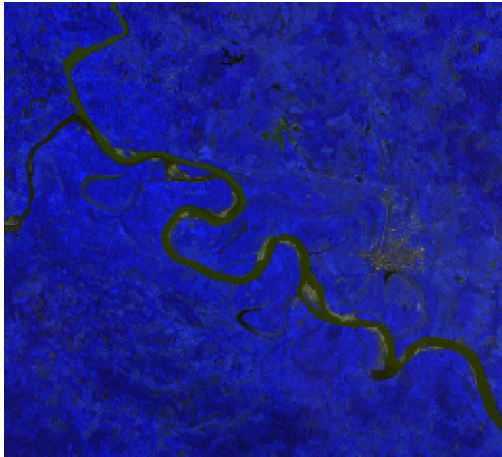


Imagen Corregida 1996

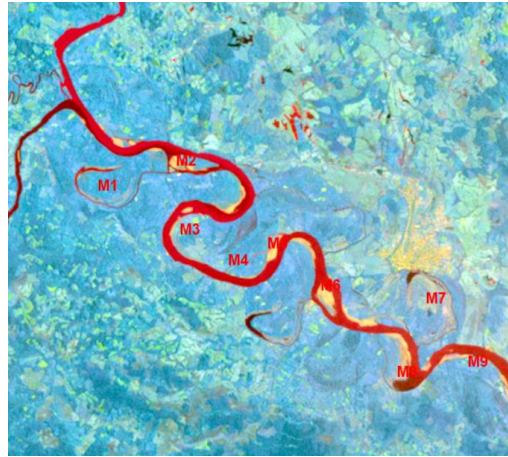
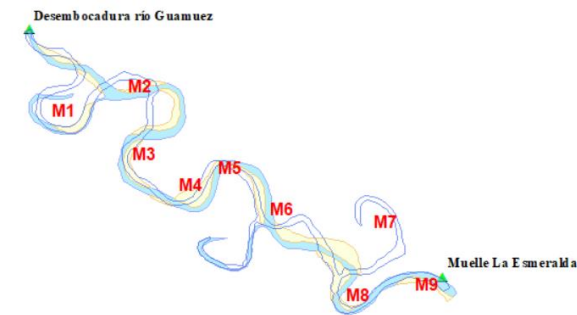


Ilustración 2. Corrección radiométrica

2.2. Tipo, Forma y Clasificación del Meandro

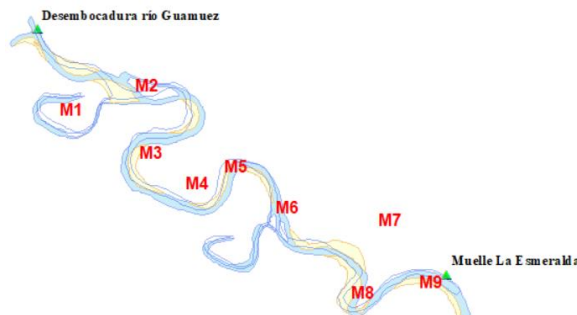
En los nueve (9) meandros definidos para el análisis del diacronismo fluvial y que se identifican claramente en cada una de las imágenes.



1976-1987

La demarcación de los meandros en la sección activa del cauce para el año 1976, se observa en contorno azul sin relleno. Al sobreponer la sección activa del cauce definida en el año 1987 (color de relleno azul), se logra identificar la disminución del eje axial y el abandono del meandro No.7.

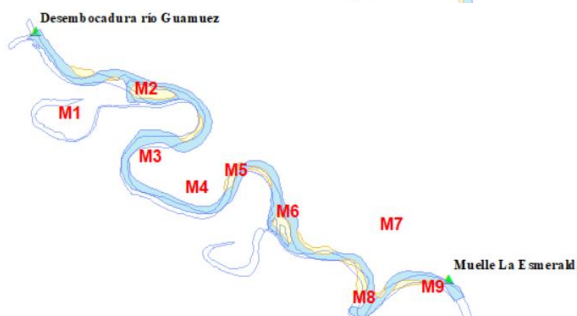
Procesos como la erosión-sedimentación, contribuyen significativamente en la morfodinámica del cauce activo. Se observa un comportamiento de rotación en el meandro No.2 y corte del cuello por vertedero para el meandro No.6.



1987-1991

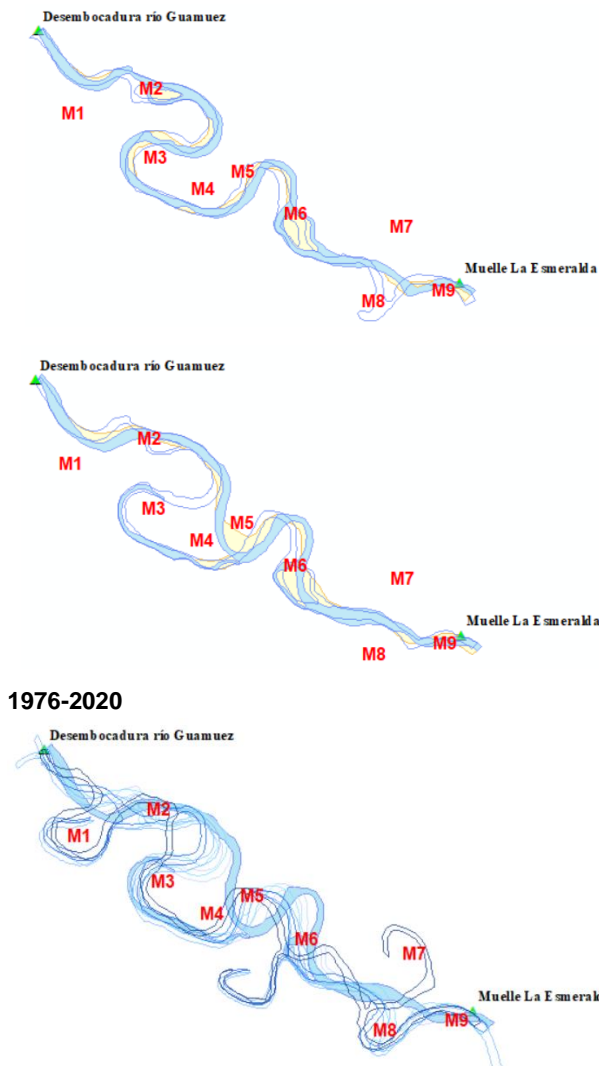
Durante este periodo de tiempo (4 años), se observa que el meandro número No.2 continúa con una dinámica de rotación en sentido nor-este. La sección activa del cauce correspondiente al año 1991 se ilustra en color de relleno azul.

El Meandro No.3 y No.4 presenta comportamiento de extensión. Para el meandro No. 5 se evidencia un leve proceso de traslación en sentido nor-este. El meandro No.8 presenta un desarrollo de corte del cuello por cierre y rotación.



1991-1996

En el tercer corte de estudio, con un periodo de tiempo de 5 años, se observan cambios notorios para el meandro 1 y 6 (Corte de cuello por vertedero). El Meandro 9 presenta proceso de extensión, el meandro 3 y 4 presenta una aparente estabilidad, por su parte el meandro 5 continúa levemente su proceso de rotación y el meandro 8 aumenta el corte del cuello por cierre.



1996-2009

Para el cuarto periodo de tiempo (13 años), se evidencia un cambio contundente. El meandro 1 presenta extensión, el M2 presenta un corte diagonal por vertedero, el M3 indica un comportamiento de corte del cuello por cierre, el meandro 5 continúa en proceso de rotación y se aproxima al casco urbano; en el M8 avanza el corte del cuello por vertedero y el M9 incrementa el proceso de extensión.

2009-2020

Para el último periodo de estudio, se observa una dinámica fluvial muy activa, es el caso del M1 y M2 que incrementaron procesos de extensión, el M3 debido a continuos procesos de corte de cuello por cierre y a procesos de erosión-sedimentación, incrementa el abandono del meandro. El M4 de igual forma desapareció por corte de cuello por cierre y la rotación constante del M5 se suma al proceso de traslación que cada vez se aproxima a la parte suroccidental del casco urbano del Municipio de Puerto Asís Putumayo.

1976-2020

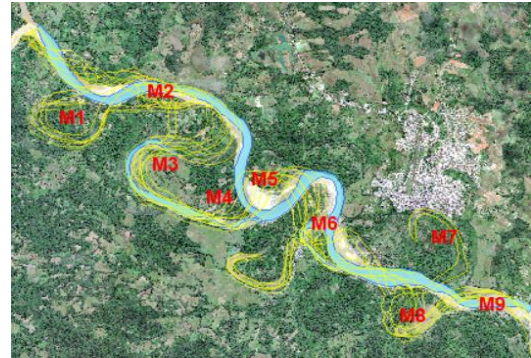


Ilustración 3. Variación espacial del cauce activo en el tiempo

2.3. Área del espejo de agua activa y superficie movilizad

Como se observó en el numeral anterior, el espejo de agua activo fue digitalizado para cada una de las imágenes utilizadas, delimitando a su vez el área inactiva fluvial (Playas). Con los resultados obtenidos, se evidencia una superficie activa constante en todos los periodos de tiempo considerados. Las zonas inactivas del cauce presentaron una baja disminución desde el año 1996 a 2020. En dicho sentido, a medida que la erosión lateral aumenta, se mantiene el espejo de agua, reduciendo así la profundidad del cauce del río con el aumento del área fluvial, exponiendo paralelamente las playas del período anterior. En este caso, la superficie de movilización hidráulica (meandros) no se verá afectada significativamente por el área activa, sino por la forma y disposición de esta teniendo en cuenta aspectos como el ángulo de giro del meandro (Azimut), radio y longitud de desplazamiento.

La **Tabla 3** presenta los valores obtenidos para analizar la superficie movilizad de la sección del cauce objeto de análisis. Para hallar la longitud y ancho transversal del

área activa e inactiva se utilizó la herramienta “Minimum Bounding Geometry” en ArcMap versión 10.7.

Tabla 3. Superficie Movilizada en el área de estudio

| Año | Tipo | Longitud (km) | Ancho seccional (m) | Área (ha) |
|------|---------------|---------------|---------------------|-----------|
| 1976 | Zona activa | 14.29 | 4061.31 | 546.92 |
| | Zona inactiva | 18.77 | 556.30 | 471.61 |
| 1987 | Zona activa | 14.53 | 3778.81 | 495.15 |
| | Zona inactiva | 19.83 | 542.83 | 393.21 |
| 1991 | Zona activa | 14.26 | 4117.28 | 1028.46 |
| | Zona inactiva | 17.28 | 585.52 | 341.65 |
| 1996 | Zona activa | 14.64 | 3255.31 | 649.83 |
| | Zona inactiva | 10.52 | 329.83 | 172.81 |
| 2009 | Zona activa | 14.37 | 3194.15 | 573.00 |
| | Zona inactiva | 12.39 | 333.11 | 204.29 |
| 2020 | Zona activa | 14.49 | 3194.15 | 552.46 |
| | Zona inactiva | 13.83 | 412.01 | 258.80 |

De acuerdo con los datos presentados en la tabla anterior, se puede analizar que la longitud del espejo de agua activo en los diferentes años de estudio no varía en forma significativa, al obtenerse resultados entre 14.26 y 14.64. Paralelamente, se obtiene una reducción del ancho seccional de río con el paso de los años y esto puede atribuirse a los procesos de abandono de cauce que se evidencian claramente en los meandros, conocido técnicamente como el “fenómeno de lateralidad contracorriente y dejación del vado” [3]. La **Figura 6**, señala la variación temporal del ancho seccional del río en su área activa e inactiva.

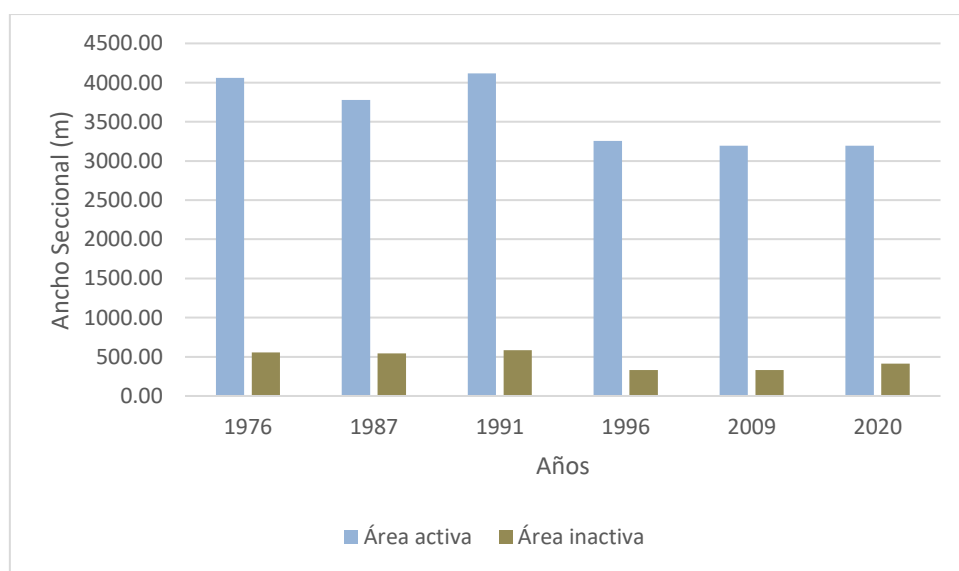


Figura 6. Variación temporal del ancho seccional

En la **Ilustración 4**, se observa en color azul, la digitalización del área activa y en color amarillo el área inactiva.

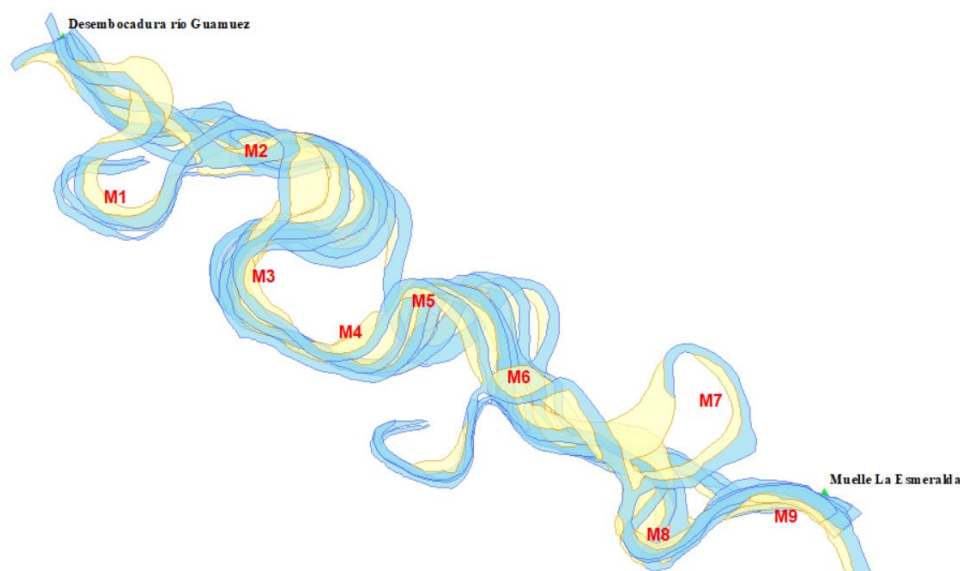


Ilustración 4. Digitalización del espejo de agua activo e inactivo 1976-2020

Seguidamente, en lo que respecta al área total del cauce activo e inactivo, se puede evidenciar la pérdida progresiva en la riera o vega pasiva y probable extensión de vegetación nativa, esto ocurre comúnmente en los ríos de lecho arenoso. **Figura 7.**

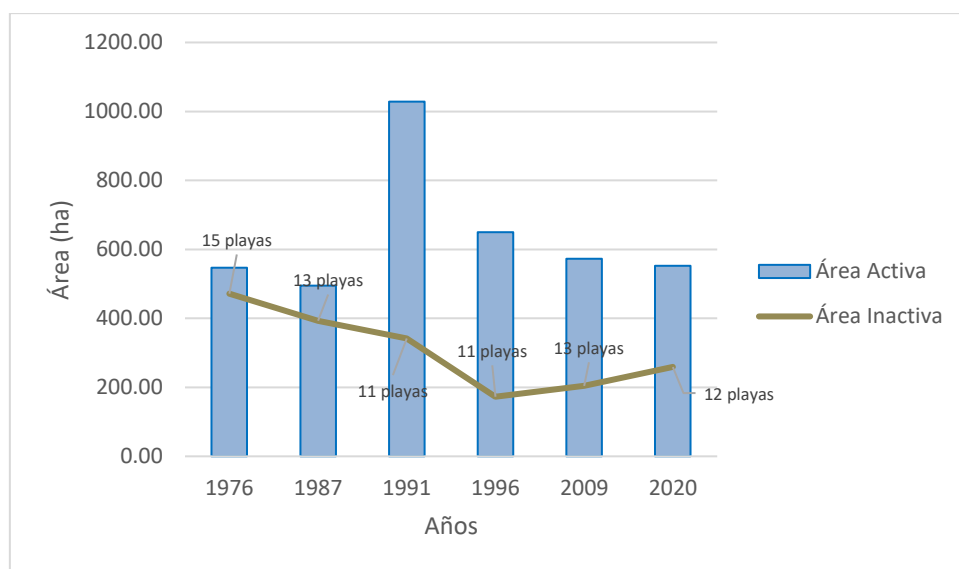


Figura 7. Variación temporal del área activa e inactiva

Particularmente, para el año 1991 se observa un incremento del área activa del cauce, a su vez que incrementó el área inactiva con 11 “playas”. En general, se observa una relativa disminución del área inactiva desde el año 1976 a 1996 y un aumento no significativo en los años 2009 al 2020.

Para finalizar, la longitud del área inactiva del cauce incrementó en los años 1976, 1987 y 1991 (**Figura 8**). La longitud del área activa se presentó estable en todo el periodo de análisis, esta situación sugiere que la dinámica cinética del río por efecto de la corriente no es dependiente a la longitud de transferencia de masas. El diacronismo fluvial para la sección de estudio se analizó mediante dos metodologías, la primera consistente en conocer la movilización general de los cauces en cada periodo de tiempo y el cálculo de la superficie movilizada, que corresponde a medir el cambio que presenta la orilla del cauce en un punto dado y tomar ese mismo referente para los años de estudio. De igual forma se calculó la superficie activa, que incluye el trazado del cauce de cada par de años analizados y la superficie restante entre ambos trazados (playas). Realizar la medición del ancho seccional, área y longitud permite conocer cuantitativamente el nivel de reducción de la superficie de cambio con el paso del tiempo.

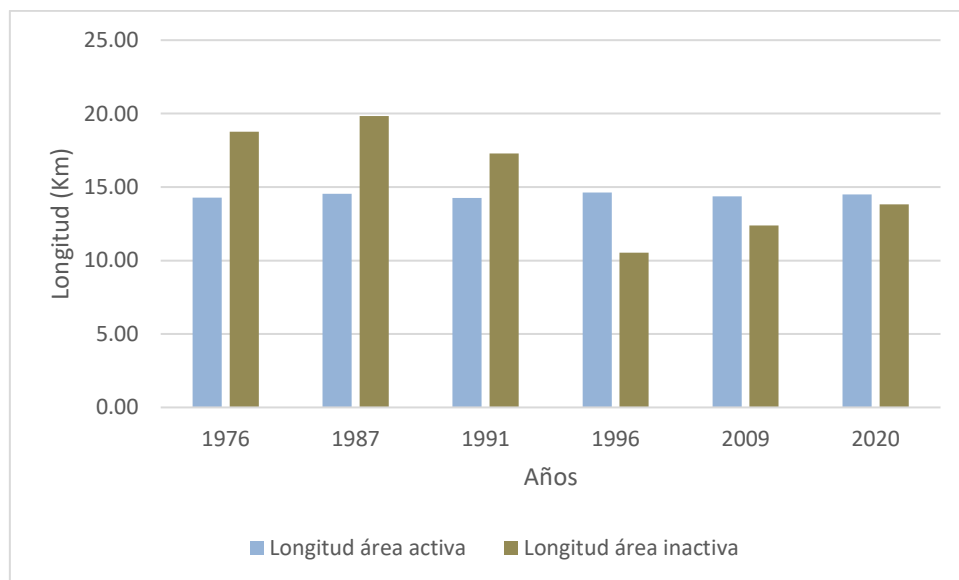


Figura 8. Variación temporal de la longitud fluvial para el área activa e inactiva

3. CONCLUSIONES

El meandro No.5 presenta una morfodinámica constante y activa, por lo que se debe tener especial cuidado dado los procesos de rotación y traslación que se registra en los periodos de tiempo evaluados y que a juzgar el intervalo de tiempo en que se registraron los cambios, este meandro representa una amenaza futura de inundación para el caso urbano del Municipio de Puerto Asís en 6 años.

Al analizar el tipo, forma y clasificación de los meandros, permitió evidenciar el proceso de envejecimiento del río a causa de los meandros abandonados que registraron desaparición con el paso del tiempo. De igual forma, fue necesario realizar círculos circunscritos sobre la orilla cóncava de cada meandro en los

diferentes años estudiados y a éstos se les estimó longitud de traslación, ángulo azimutal, radio y rata de cambio, con ello, se puede calcular una predicción de tendencia de la migración de los meandros, teniendo como referencia la variación de los parámetros ya dichos (ángulo, distancia y radio).

Se aplicaron técnicas vectoriales para determinar el área del espejo de agua activo y la superficie movilizadora; con lo anterior, se concluye que la sección del río Putumayo objeto de estudio se encuentra en un proceso de reducción seccional, cediendo áreas fluviales que se observan con el incremento y/o disminución del número de playas o áreas inactivas, esto sugiere una pérdida de energía cinética para el cauce.

En su comportamiento, los meandros 6 y 7 presentaron corte de cuello por vertedero y el abandono del cauce para el M7. Por su parte, los meandros 8 y 9 presentaron extensión del cauce en su recorrido fluvial con corte diagonal por vertedero. El comportamiento de los meandros es útil no solo para temas de prevención del riesgo, sino también es un análisis hidráulico fundamental para la toma de decisiones en obras de infraestructura pública; de ahí radica la determinación del sitio ideal para instalar obras públicas que no se vean afectadas con el paso del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, (9). <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/ambrosio2002crg.pdf>
- [2] Calvache, J. (2020a). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para la construcción de puente localizado en el paso del río guineo entre las veredas Canangucho – la palestina, en el municipio de Villagarzón, departamento del putumayo.*
- [3] Calvache, J. (2020b). *Diacronismo fluvial del río Putumayo para la construcción de puente sobre muelle La Esmeralda en el municipio de Puerto Asís. May, 0–9.* <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12237170>
- [4] Canchón, D. M. (2017). *Análisis de los procesos de erosión-Sedimentación de un tramo del río Cravo Norte - Arauca, a través de sensores remotos.* 2–21.
- [5] García, D. G., Naverac, V. A., Bea, E. D., Ibisate, A., Matauco, G. De, & Ojeda, O. (2011). *Análisis diacrónico de la migración de cauces fluviales mediante técnicas de SIG vectorial.* 2006, 18–20.
- [6] García Díaz, Jhhonatan Steven. Calderon peralta, D. A. (2018). *Teledetección en la dinámica fluvial del río Magdalena en el Municipio de la Dorada, Departamento de Caldas Colombia para loa años 1998-1990-2000 y 2016.* Universidad de Ibagué.

- [7] García Rodríguez, M. (2014). *El modelado fluvial. Procesos de erosión, transporte y sedimentación fluvial. Formas resultantes. Riesgos de avenidas e inundación: medición, predicción y prevención. December, 27.*
- [8] Gradado David. Ibisate Askoa. Ollero Alfredo. (2011). *Análisis diacrónico de la migración de cauces fluviales mediante técnicas de SIG vectorial.* 10. <https://www.researchgate.net/publication/263307390>
- [9] Lagasse, P.F., Spitz, W.J., Zevenbergen, L.W., & Zachmann, D. W. (2004). Handbook for predicting stream meander migration. *National Cooperative Highway Research Program*, 10. <https://doi.org/10.17226/23346>
- [10] Malavoi, J. R., Bravard, J. P., Piegay, H., Herouin, E., & Ramez, P. (1998). *Guide technique N° 2. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau.* 39. <https://hal.inrae.fr/hal-02578750>
- [11] Semana-Sostenible. (2017). *Río Putumayo en Puerto Asís podría desbordarse por mala gestión de riesgo.* <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/rio-putumayo-en-puerto-asis-podria-desbordarse-por-mala-gestion-de-riesgo/38659>
- [12] Suárez-Díaz, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. In *Control de erosión en zonas tropicales.* <http://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html>
- [13] Treimun, J. (2018). *Monitoreo Ambiental y Teledetección. Conferencia de Geomática Chile 2018. UTEM. December.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19812.83842>